

# Термодинамика

## Первое начало термодинамики

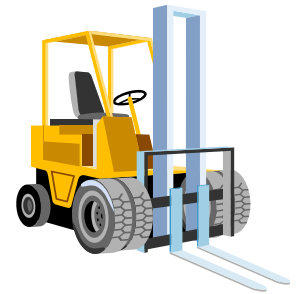
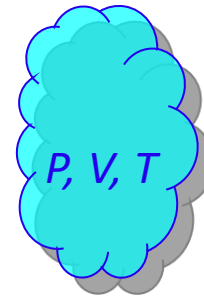
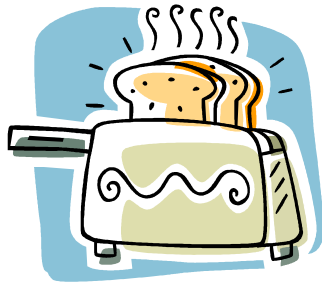
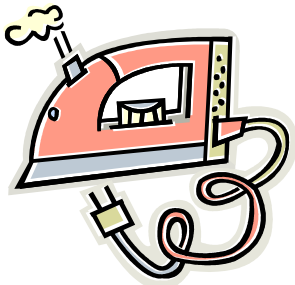
# Термодинамика

**Термодинамика** – это наука, изучающая условия превращения различных видов энергии в тепловую и обратно, а также количественные соотношения, наблюдаемые при этом.

В термодинамике телом можно назвать **воздух**, **воду**, **ртуть**, любой газ, т.е. любое вещество, занимающее определённый объём.

**Первое начало термодинамики** – это закон сохранения и превращения энергии.

**Термодинамической системой** называют **любой макроскопический объект**, который обменивается энергией с **любыми объектами окружающего мира**



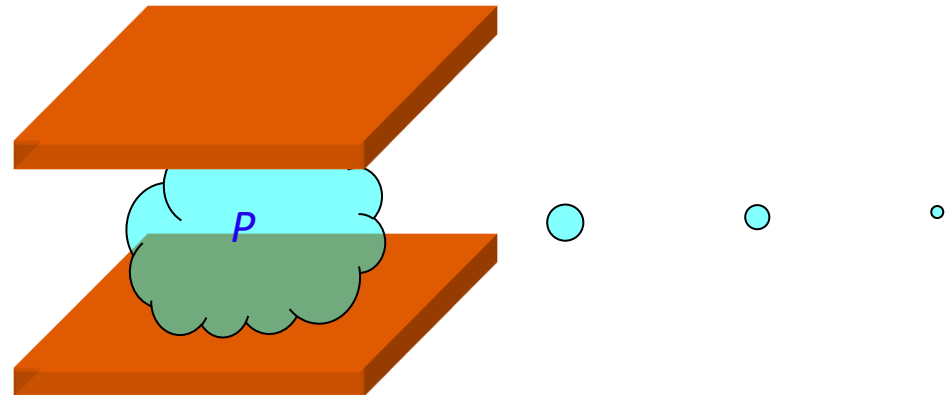
Общее количество энергии, переданное **ТС**, внешними телами при их взаимодействии, называют **количеством тепла**

# Первое начало термодинамики

Количество энергии, **переданное ТС, внешними телами** за счет их **силового воздействия на ТС**, называют **работой**, совершенной над системой

**Работой расширения** называют **работу**, которую **система производит против внешних сил**

**Внутренней энергией ТС** называют **энергию, зависящую только от термодинамического состояния ТС**



# Первое начало термодинамики

$\Delta Q$  - это количество теплоты, сообщённого телу или системе тел.

$\Delta A$  - работа, совершаемая силами, приложенными со стороны системы к внешним телам.

$\Delta U$  - изменение внутренней энергии системы.

$$\Delta U = U_2 - U_1$$

$U_1$  - внутренняя энергия системы в каком-то состоянии 1

$U_2$  - внутренняя энергия системы в каком-то состоянии 2

Математическая формулировка первого начала термодинамики записывается так:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A$$

Количество тепла, сообщённое системе, идёт на изменение внутренней энергии системы и на работу, совершаемую системой против внешних тел.

## Первое начало термодинамики

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A$$

Если речь идёт о бесконечно малом количестве теплоты, сообщённом системе, о бесконечно малом изменении внутренней энергии системы и о бесконечно малой работе

$$\delta Q = dU + \delta A$$

Внутренняя энергия ТС(или тела) – это сумма всех видов энергии

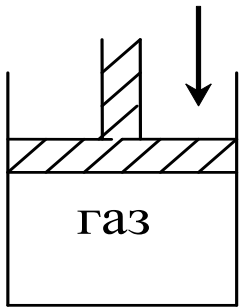
1. энергии теплового движения атомов или молекул,
2. потенциальная энергия их взаимодействия,

закрывающихся в данной системе, **за ИСКЛЮЧЕНИЕМ** энергии, которой система обладает в результате взаимодействия с другими телами.

# Первое начало термодинамики

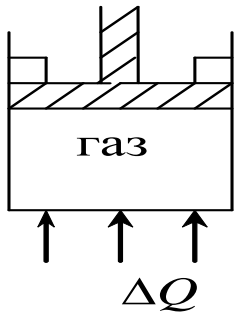
Внутреннюю энергию можно изменить:

## 1. Совершение работы.



Газ сжимается и нагревается

## 2. Подведение некоторого количества теплоты.



**Работа** – способ передачи энергии. В процессе работы происходит переход энергии из одного вида энергии в другой.

## Первое начало термодинамики

Внутренняя энергия  $U$  является функцией состояния системы, т.е. каждому состоянию тела соответствует одно значение  $U$ .

Изменение энергии  $\Delta U = U_2 - U_1$  не зависит от того, каким путём совершается переход из одного состояния в другое.

Следовательно, бесконечно малое изменение  $dU$  внутренней энергии является полным дифференциалом.

**Количества теплоты и работы зависят от пути перехода** системы из начального в конечное состояние, они не являются функциями состояния системы, их бесконечно малые изменения  $\delta Q$  и  $\delta A$  не являются полными дифференциалами.

$$\delta Q = dU + \delta A$$

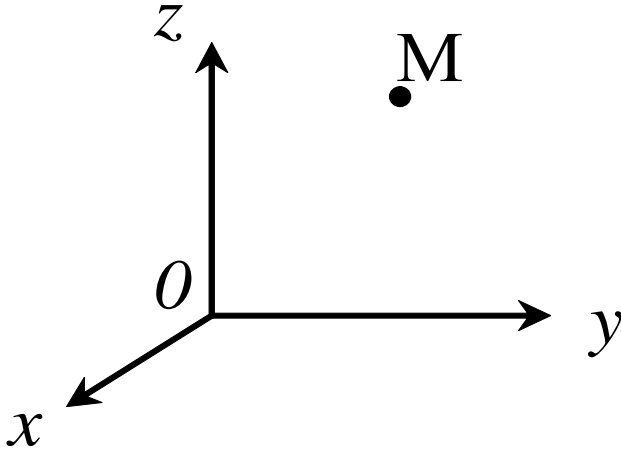
# Термодинамика

**Число степеней свободы.  
Внутренняя энергия идеального газа.**



## Число степеней свободы. Внутренняя энергия идеального газа.

Числом степеней свободы называется наименьшее число независимых координат, которое необходимо ввести, чтобы определить положение тела в пространстве  $i$  - число степеней свободы.



Для молекулы одноатомного газа  
число степеней свободы  $i = 3$ .

Материальная точка  $i = 3$

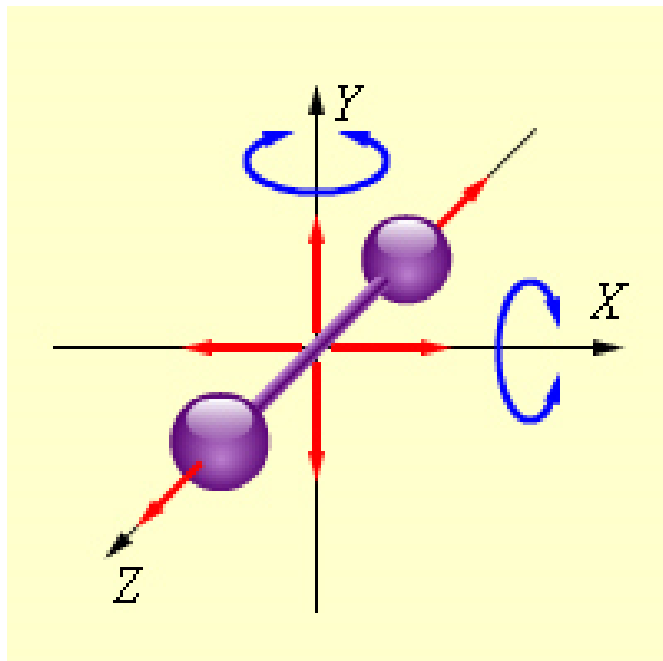
Система  $N$  материальных точек без жестких связей  $i = 3N$

Абсолютно твердое тело

$$i = i_{\text{пост}} + i_{\text{вращ}}$$

# Число степеней свободы. Внутренняя энергия идеального газа.

## Двухатомная молекула с жесткой связью



$$i = 5$$
$$i_{\text{пост}} = 3$$
$$i_{\text{вращ}} = 2$$

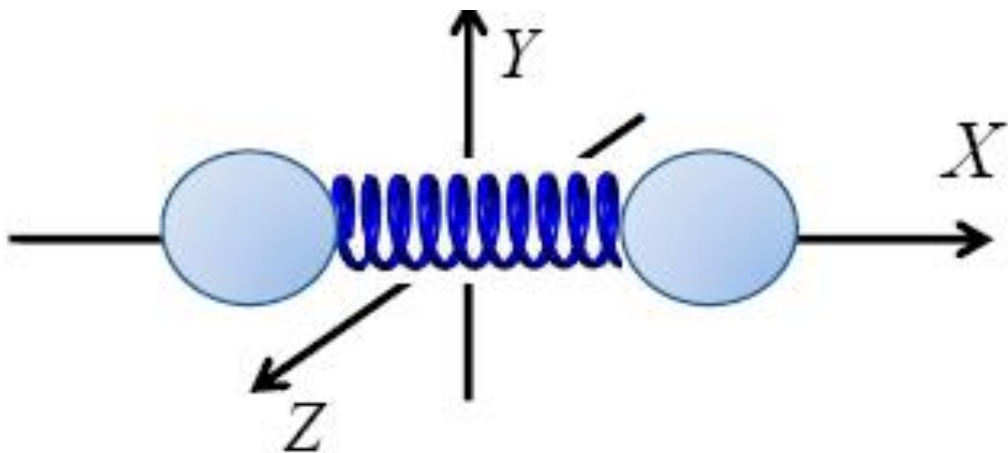
## Линейная молекула с жесткой связью



$$i = 3N - 1$$

# Число степеней свободы. Внутренняя энергия идеального газа.

## Двухатомная молекула с нежесткой связью



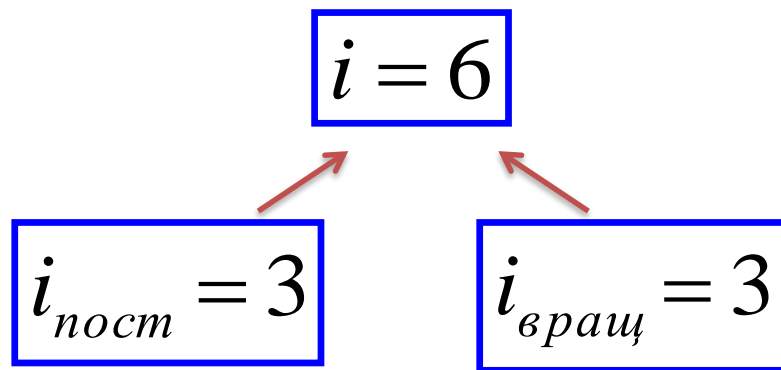
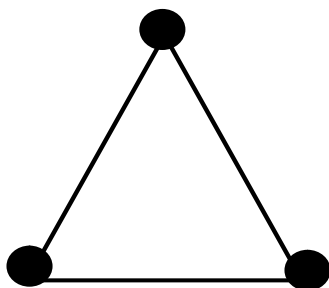
линейная молекула

$$i_{\text{колеб}} = 3N - 5$$

$$i = i_{\text{пост}} + i_{\text{вращ}} + i_{\text{колеб}}$$

# Число степеней свободы. Внутренняя энергия идеального газа.

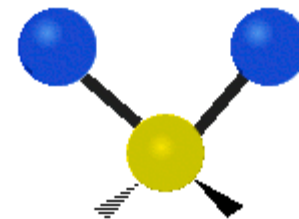
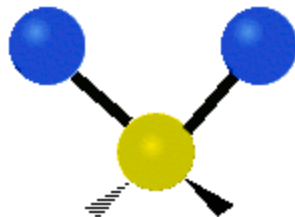
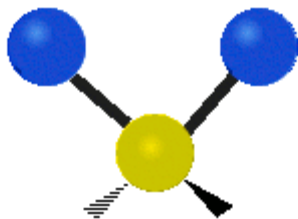
## Трехатомная молекула с жесткой связью



$$i = i_{\text{пост}} + i_{\text{вращ}}$$

# Число степеней свободы. Внутренняя энергия идеального газа.

## Трехатомная нелинейная молекула с нежесткой связью



$$i = i_{\text{пост}} + i_{\text{вращ}} + i_{\text{колеб}}$$

$$i_{\text{пост}} = 3$$

$$i_{\text{вращ}} = 3$$

$$i_{\text{колеб}} = 3N - 6$$

## Число степеней свободы. Внутренняя энергия идеального газа.

### Закон о равномерном распределении энергии по степеням свободы

утверждает, что на каждую степень свободы молекулы приходится одно и то же количество энергии, равное  $\frac{1}{2}kT$

Молекула, имеющая  $i$  степеней свободы, обладает энергией :

$$E = \frac{i}{2}kT$$

## Число степеней свободы. Внутренняя энергия идеального газа.

Внутренняя энергия идеального газа – это сумма кинетических энергий всех его молекул.

Внутренняя энергия одного моля идеального газа  $U_0 = EN_A$

$E$  - энергия одной молекулы газа,

$N_A$  - число Авогадро.

$$k = \frac{R}{N_A}$$

$$U_0 = EN_A = \frac{i}{2} k T N_A = \frac{i}{2} \frac{R}{N_A} T N_A = \frac{i}{2} RT$$

$$U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT$$

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T$$

Внутренняя энергия газа

Изменение внутренней энергии идеального газа

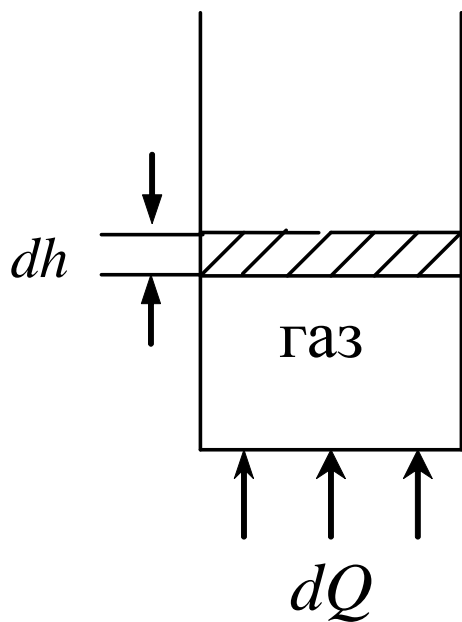
# Термодинамика

**Работа идеального газа при изопроцессах**



## Работа идеального газа при изопроцессах

Рассмотрим газ находящийся под поршнем в цилиндре.



$$F = P S$$

$F$  - сила действующая со стороны газа на поршень,

$P$  - давление газа на поршень,

$S$  - площадь поршня.

Бесконечно малую работу, совершаемую газом, можно найти по формуле:

$$dA = Fdh = PSdh = PdV$$

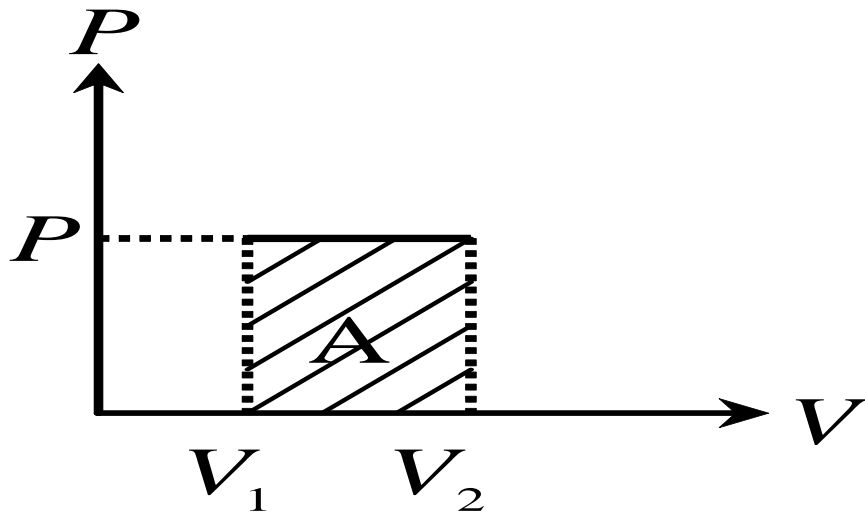
$$dA = PdV$$

## Работа идеального газа при изопроцессах

### Работа при изобарическом процессе

$$P = \text{const}$$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV = P \int_{V_1}^{V_2} dV = P(V_2 - V_1)$$



$$A = P(V_2 - V_1)$$

## Работа идеального газа при изопроцессах

Работа при изохорическом процессе

$$V = \text{const}$$

$$A = 0$$

Работа при изотермическом процессе

$$T = \text{const}$$

$$U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT = \text{const}$$

$$\Delta T = 0 \longrightarrow \Delta U = 0$$

$$\Delta Q = \cancel{\Delta U} + \Delta A \longrightarrow \Delta Q = \Delta A$$

$dQ = dA = PdV$

$$P \neq \text{const}$$

## Работа идеального газа при изопроцессах

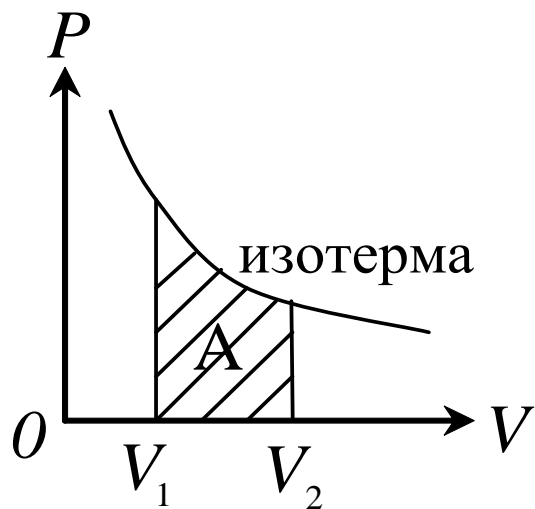
Найдём давление из уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$P = \frac{m}{\mu} \frac{RT}{V}$$

$$dA = PdV$$

$$dA = \frac{m}{\mu} RT \frac{dV}{V}$$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} \frac{m}{\mu} RT \frac{dV}{V} = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$



$$A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Работа при изотермическом процессе